

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НАНЕСЕНИЯ ТОНКИХ ПЛЁНОК С ПОМОЩЬЮ МОЩНОГО ЭЛЕКТРОИОНИЗАЦИОННОГО CO<sub>2</sub>-ЛАЗЕРА «НЭИЛ-20»

На сегодняшний день одной из наиболее быстро развивающихся областей науки является нанесение пленок на поверхность материалов. Это обусловлено необходимостью создания полупроводниковых элементов, обладающих новыми свойствами, приданию поверхности новых механических, защитных, термических свойств и т. д.

Целью настоящей работы явилось исследование возможности нанесения тонких беспористых пленок с помощью мощного электроионизационного CO<sub>2</sub> лазера «НЭИЛ-20».

В ходе работы были решены следующие задачи:

1. Исследование энергетические и оптические характеристики CO<sub>2</sub> лазера «НЭИЛ-20».

2. Исследование возможности снижения количества капель при нанесении покрытий методом лазерной абляции.

При воздействии лазерного излучения на мишень в течение импульса очень важно для ряда технологических процессов и, в частности, для нанесения тонких плёнок, чтобы оптические и энергетические параметры лазера оставались стабильными. Кроме того, необходимость проведения этих исследований вызвана еще и тем, что мощные электроионизационные лазеры являются по большей части уникальными установками с определёнными, присущими только конкретному лазеру параметрами.

Энергетические характеристики CO<sub>2</sub> лазеров зависят от многих начальных параметров, таких как ток разряда, напряженность электрического поля, состав и давление активной среды, геометрия активной зоны и т.д. Поскольку влияние вышеупомянутых параметров на энергетику лазера достаточно хорошо изучено [1], поэтому здесь остановимся достаточно кратко на результатах экспериментов по определению оптимальных условий генерации излучения для режима развитого испарения.

В ходе экспериментов постоянными поддерживались давление смеси газов  $p = 50$  торр, плотность тока пучка  $j_e = 0,5$  мА/см<sup>2</sup> и отношение напряженности поля к давлению  $E/p = 6$  В/(см×торр). При варьировании соотношения CO<sub>2</sub> к N<sub>2</sub> при отсутствии в активном объеме других компонентов максимальный КПД  $\eta = 7\%$  реализовался для CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub> = 1:9. Замена части молекулярных компонентов на He приводило к увеличению КПД, который достигал максимального значения 18% при соотношении CO<sub>2</sub>:N<sub>2</sub>:He = 1:9:10. Дальнейшее увеличение содержания He в смеси газов приводило к уменьшению КПД. Причина такого поведения КПД достаточно хорошо известна и связана с рассеянием нижнего лазерного уровня 00<sup>0</sup><sub>1</sub> через состояние 01<sup>1</sup><sub>0</sub>, которое наиболее эффективно достигается при содержании He в активной смеси ~ 50%. [2]

В то же время максимальная мощность и энергия излучения в импульсе реализуется при соотношении  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:9:15$ , что обусловлено увеличением мощности разряда. Уменьшение содержания молекулярных компонентов в смеси газов ведет к уменьшению скорости ионизации, что однако компенсируется снижением скорости прилипания. Поэтому рост тока и мощности разряда, на наш взгляд, связан с увеличением дрейфовой скорости электронов смеси, более богатой He при сохраняющемся значении  $E/p$  [3].

Дальнейшее увеличение энергии излучения возможно при частичной замене He на Ag [4], который имеет большее сечение ионизации электронами, что увеличивает плотность разрядного тока. Полная замена He на Ag приводит к снижению мощности излучения и КПД лазера до 8%. Наилучшие результаты реализуются при частичной замене He на Ag для смеси  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}:\text{Ag}=1:9:6:4$ , что позволяет увеличить мощность излучения на 25% по сравнению с генерацией на смеси  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:9:10$ . Однако КПД в этом случае падает с 18 до 16% [5].

Достоинством накачки активной среды самостоятельным разрядом, управляемым электронным пучком, является возможность подбора такого значения параметра  $E/p$ , при котором основная доля энергии поступает на верхний лазерный уровень.

Эксперименты проводились с использованием смеси  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He}=1:9:10$  двумя методами. В первом – при неизменном значении напряжения межэлектродного промежутка – изменялось давление газовой смеси, во втором – при постоянном давлении (50 торр) – повышалось напряжение. В том и другом случае значения  $E/p$  были ограничены на уровне 6 В/(см×торр), поскольку дальнейшее повышение приводит к возникновению пробоев межэлектродного промежутка. При увеличении напряженности поля наблюдается линейный рост как вкладываемой мощности, так и мощности излучения, в то время как рост КПД при превышении значения  $E/p = 4,5$  В/(см×торр) замедляется. Порог генерации излучения при использовании лазерной смеси  $\text{CO}_2:\text{N}_2:\text{He} = 1:9:10$  давлением 50 торр наблюдается при напряженности поля 150 В/см [5].

Динамика фокального пятна исследовалась по отпечатку, оставленному импульсом излучения, сфокусированного на вращающемся виниловом диске с частотой оборотов  $\nu = 11000$  об/мин. Для уменьшения повреждения мишени и снижения доли краевых эффектов эксперименты проводились с фокальным пятном достаточно большого размера ~1,5 мм, реализация которого достигалась использованием длиннофокусной линзы из KCl. Более того, с этой же целью эксперименты выполнялись при низких мощностях излучения  $P_{\text{изл}} = 48$  кВт и мощности накачки  $P_{\text{н}} = 810$  кВт.

Осциллограммы тока с шунта из резисторов типа ТВО с общим сопротивлением 0,04 Ом регистрировались на двухлучевом осциллографе Tektronix TDS 360 (рис. 1). Осциллограммы импульса излучения получены с помощью пиромодуля МГ-30 на том же осциллографе (рис. 1) Для этого часть излучения (1%) отводилась от поворотного зеркала. Калибровка пиромодуля проводилась с помощью измерителя мощности ИКТ-1Н.

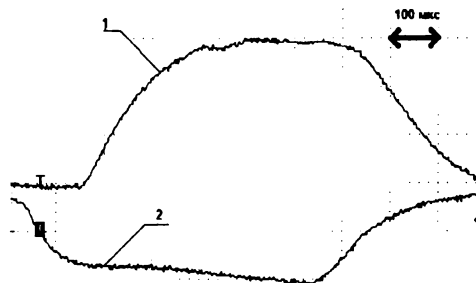


Рис. 1. Осциллограммы импульса: 1 – импульс излучения; 2 – ток пучка

В ходе этих экспериментов исследовалось, насколько значительно могут влиять неоднородности в скорости прокачки газа в активной зоне лазера на диаметр пятна фокусировки [2].

В эксперименте половина разрядной зоны прокачивалась со скоростью 10 м/с, а в другой половине газовый поток перекрывался перегородкой.

Регистрировались отпечатки фокального пятна излучения на оргстекле, когда поток был однородным и прокачивалась вся разрядная зона, и когда была установлена перегородка и в половине разрядной зоны прокачка не производилась. Для случая неоднородной прокачки часть излучения перемещается вверх перпендикулярно потоку газа и в сторону против движения потока, увеличивая в этом направлении пятно фокусировки почти в 1,4 раза.

Учитывая, что за время действия импульса накачки длительностью 700 мкс активная среда сдвигается на 0,7 см вдоль потока газа, то, следовательно, ~ 7% ее объема состоят из двух зон с разными коэффициентами преломления излучения [2].

Таким образом неоднородность активной газовой среды вызывает заметное искажение волнового фронта и, как следствие, пятна фокусировки излучения.

Эксперименты показали, что в ходе излучения оптические характеристики изменяются в пределах не более 15%, что позволяет использовать данный лазер для нанесения тонких плёнок.

**Предварительные результаты по нанесению тонких плёнок и их обсуждение.**

Задача экспериментальных и теоретических исследований взаимодействия мощного лазерного излучения с веществом обусловлена тем, что в лазерном факеле присутствуют однородный пар и капли материала мишени. Паровая составляющая факела может быть использована для ускоренного нанесения тонких пленок высокого качества на поверхности изделий при условии, что жидкие капли в нем будут отсутствовать.

В процессе выполнения дипломного проекта была поставлена серия экспериментов по нанесению тонких плёнок с помощью мощного электроионизационного  $\text{CO}_2$ -лазера «НЭИЛ-20». В качестве мишеней использовались стальные диски и образцы  $\text{ZrO}_2$ , в качестве подложек – стекло, титановые пластинки.

Цель экспериментов заключалась в следующем: нужно получить покрытие без капель и обломков мишени.

#### Эксперимент с вращением мишени

В эксперименте в качестве мишени использовался стальной диск, выбор в пользу диска был сделан исходя из прочности материала, поскольку нужно было вращать мишень со скоростью порядка 2000 об/мин. В качестве подложки использовалось стекло.

Результаты эксперимента: на рис. 2.

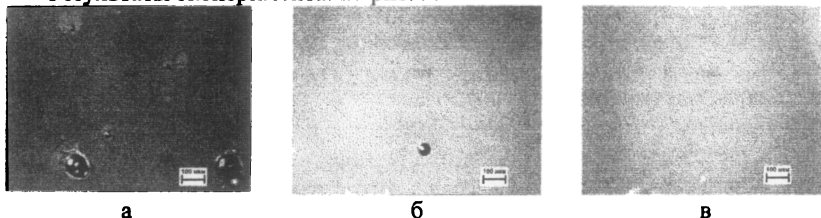


Рис. 2. Количество импульсов – 20; расстояние от мишени до подложки – 10 мм: а – скорость мишени 0 м/с; б – скорость мишени 1,5 м/с; в – скорость мишени 6,5 м/с

#### Эксперимент со смещением луча

В эксперименте в качестве мишени использовалась таблетка  $\text{ZrO}_2$ , в качестве подложки – титановая пластинка.

Полученные результаты изображены на рис. 3.

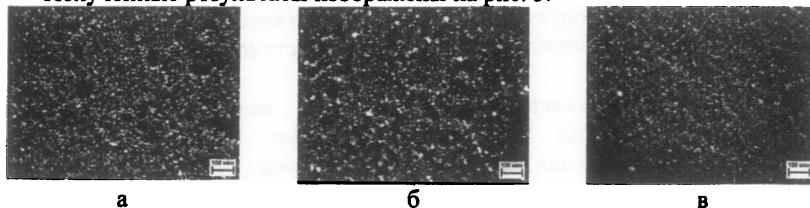


Рис. 3. Количество импульсов – 20; расстояние от мишени до подложки – 10 мм; а – скорость смещения луча 2,5 м/с; б – скорость смещения луча 12,5 м/с

Полученные результаты показывают, что при увеличении скорости смещения мишени относительно луча до 6,5 м/с в случае стали и 12,5 м/с в случае  $\text{ZrO}_2$  наблюдается уменьшение размеров капель до 10 мкм и их

количества. Можно предположить, что дальнейшее увеличение скорости приведёт к образованию без капельных покрытий.

На основании проведённой работы и поставленных экспериментов, которые являются предварительными, оценочными по возможности нанесения тонких плёнок, можно сделать вывод, что представленные методы очень эффективны в решении задач по снижению количества капель при нанесении плёнок.

#### Библиографический список

1. Воздействие лазерного излучения на материалы / Р.В. Арутюнян [и др.] М.: Наука, 1989. 366 с.
2. Исследование характеристик излучения мощного CO<sub>2</sub> лазера с управляемым импульсом накачки / В.В. Осипов [и др.] // Оптика атмосферы и океана, 2006. Вып.19, № 2-3
3. Зуев В.Е.Современные модели атмосферной оптики Т.2: Оптические модели атмосферы / В.Е.Зуев, Г.М. Крепов. Ленинград, 1989. 256 с.
4. Зуев В.Е. Лазер покоряет небо / В.Е Зуев. Новосибирск, 1972. 191 с.
5. Справочник по лазерам / под ред. А.М. Прохорова. М.: Сов. радио, 1978, Т.1. 504 с.